

化工装置蒸汽伴热系统设计

黄凯华

上海蓝星聚甲醛有限公司 上海 201419

【摘要】化工装置有很多管道和设备需要依靠伴热的方法来维持介质的温度,蒸汽外伴热管伴热是广泛采用的一种伴热方式,但是很多化工企业对于蒸汽外伴热管伴热的设计计算没有一个系统的方法,伴热系统的现场施工也很不规范和不标准,笔者通过本文旨在引导大家正确顺利地进行蒸汽外伴热管伴热的设计和施工。

【关键词】化工 管道 设备 蒸汽伴热系统 计算 设计

伴热作为一种有效的管道和设备的保温及防冻措施已广泛应用于化工装置中,其工作原理是利用伴热媒体散发一定的热量,通过直接或间接的热交换补充被伴热管道的热损失,达到升温、保温或防冻的工作要求。

工艺管道的伴热方式有4种:内伴热管伴热、外伴热管伴热、夹套伴热、电伴热。工艺管道常用的伴热介质为热水、蒸汽、热载体和电热。由于蒸汽取用方便、冷凝潜热大、温度易于调节、适用范围较广,因此蒸汽外伴热管伴热方式是使用最广泛最普遍的保温方式,一般操作温度在170℃以下的工况温度均可以采用,同时,施工、生产管理及检修都比较方便。本人结合自身长期的化工行业工作经验以及其他设计工作者的科技成果进行了归纳总结,以期为同行们的工程项目设计提供参考和借鉴。

1 蒸汽伴热系统理论计算

蒸汽伴热系统的理论计算,主要是通过通过对系统中所有管道和设备的总热量损失的核算,来确定所需要的伴热总面积,并最终确定满足伴热温度所需蒸汽伴热管的总长度,同时也计算出伴热系统所需要的蒸汽总量。

1.1 管道和设备总散热量计算

1.1.1 单位长度管道和单位面积设备的表面散热量计算

分别按下列两条公式分别计算出管道单位长度的散热量和设备(包括阀门)单位面积的散热量。

$$Q_{BT} = 1.3 \times \frac{2\pi (T_0 - T_a)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{2}{D_2 \alpha}} \quad (\text{W/M})$$

$$Q_{BP} = 1.3 \times \frac{(T_0 - T_a)}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad (\text{式1})$$

QBT: 管道散热量 (kcal/m·h 或者 W/M)

QBP: 设备散热量 (kcal/m²·h 或者 W/M²)

λ: 绝缘材料导热系数 (kcal/m·h·℃)

D1: 保温层内径 (m)

D2: 保温层外径 (m)

α: 绝热层外表面与周边环境的表面散热系数 (kcal/m²·h·℃) (室内可取值 11.63W/m²·℃)

δ: 绝热层厚度 (m)

T0: 需要蒸汽伴热维持的温度 (℃), 是指金属管道或设备的表面温度。

Ta: 极端平均最低环境温度 (℃), 查全国各地气象参数表即可获得。

1.3: 散热量校核安全系数, 是常量。

1.1.2 设备和管道总散热量计算

分别计算出系统中各种规格管道的总长度和所有设备(包括阀门等)的总面积,再与上述两式计算所得的结果相乘,并再次累加最终计算出系统的总散热量,这也是系统所需的伴热蒸汽总热量。

1.1.3 总散热量单位换算

按照“1W=1J/S”的换算关系,把该系统所需要的伴热蒸汽总热量换算成“焦耳”,为后续的蒸汽耗用量计算做准备。

1.2 伴热系统蒸汽总耗用量计算

1.2.1 每kg蒸汽伴热后的放热量计算

计算出每kg蒸汽当温度降低至伴热温度后(存在相变的情况)的总放热量,这需要分以下两步进行计算:

(1) 计算出蒸汽变成100℃水的放热量;

(2) 计算出100℃水变成伴热温度时水温的放热量。

例如: 每kg 180℃饱和水蒸气变成伴热温度时水温(80℃)的放热量。计算分两步,蒸汽变成100℃的水,利用的是蒸汽自身的潜热,100℃的水变成80℃水利用的是显热。计算方法如下:

(1) 蒸汽变成100℃水后的放热量查得180℃的蒸汽潜热约为2020KJ/kg。

(2) 100℃的水变成80℃水后的放热量(水的比热近似取4.2KJ/kg)。

$$Q = CM (t_2 - t_1) = 4.2 \times 1 \times (100 - 80) = 84KJ \quad (\text{式2})$$

因此,每kg 180℃饱和水蒸气冷却成为伴热温度时水温(80℃)的总放热量为: 2020+84=2104KJ。

1.2.2 计算伴热蒸汽总耗用量

系统所需的伴热蒸汽总热量除以每kg蒸汽伴热后的总放热量,计算出蒸汽总耗用量。

1.3 伴热系统换热面积计算

伴热系统表面需要涂敷导热胶泥,保证蒸汽伴热管与管道和设备实现充分传热,蒸汽伴热的换热面积计算可等效于换热器换热面积的计算。

按照下列公式计算出蒸汽伴热系统所需要的换热面积:

$$A = \frac{Q}{\lambda (T_r - \Delta t)} \quad (\text{式3})$$

A: 为换热面积 (m²)

Q: 为总换热量 (W)

λ: 为蒸汽伴热管的导热系数 (W/m·K, 这里K可用℃代替)

T_r: 为较热介质的平均温度

Δt: 为次热介质的平均温度。

例如: 某系统介质进口温度80℃, 出口温度80℃, 用铜管伴热进行温度维持, 180℃饱和水蒸气将变成(80℃)伴热冷凝水, 系统需要蒸汽伴热的总热量为300000W, 求换热面积。

求解:

$$\text{换热温差: } (T_r - \Delta t) = (180 + 80) / 2 - 80 = 50 (\text{k})$$

查表得铜的导热系数: λ=401 W/m·K。

由此可求得总换热面积: A=14.963 (m²)。

1.4 伴热管长度计算

先计算出单位长度伴热管的表面积,再把总换热面积与单位长度伴热管面积相除,即可得出系统所需蒸汽伴热管的总长度。

例如: 上述某伴热系统的换热总面积A为14.963 (m²), 采用Φ10的紫铜管进行伴热, 求该系统需要伴热管的总长度。

求解: 每米Φ10的紫铜管的表面积为 S=π×0.01×1=0.0314 (m²)。

计算该系统实际需要的伴热管的总长度 L=A/S=14.963/0.0314=476.53 (m)。

2 蒸汽伴热系统管路设计

蒸汽伴热系统管路设计,是根据上述核算所得的系统总散热量、蒸汽总耗用量、蒸汽伴热总换热面积和伴热管的总长度,设计出具有相应功能的伴热管路系统,其内容包括伴热管的规格选择和分段、蒸汽伴热管路系统的方案设计、蒸汽分配站和疏水站的设置、伴热管铺设方式和安装固定、保温设施和疏水器的选择等方面。

2.1 蒸汽伴热管的选择

如果选择缠绕方式进行伴热,可直接采用Φ8、Φ10、Φ12的紫铜管,然后根据下列附表中的分段长度规则进行分段缠绕,分段后的所有铜管总长度必须符合总换热面积计算结果,而且必须均匀地全部缠绕在系统管道和设备的外表面。

如果选择平行方式进行伴热,也可选择其它规格的碳钢管或不锈钢管,并按如下方法计算确定伴管管径及所需伴管的最少数量:

$$d = \frac{K(t - t_0)}{\left[\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{\alpha D_0} + \frac{1}{\alpha_i D_i} \right] \alpha_i (t_1 - t_2)} \quad n \geq \frac{d}{d_0} \quad (\text{式4})$$

d: 为伴管计算外径, m;
 d0: 为伴管外径, m;
 Di: 为保温层外径, m;
 D0: 为保温层内径, m;
 K: 为热损失附加系数, 取1.15~1.25;
 n: 为伴管根数, 根;
 t: 为被伴介质温度, °C;
 ta: 为环境温度, °C;
 tst: 为伴管介质温度, °C;
 α: 为保温层外表面向大气的放热系数, W/m²·°C;
 α_i: 为保温层内加热空间向保温层的放热系数, W/m²·°C, (一般取13.95 W/m²·°C);
 α_t: 为伴管内保温层内加热空间的放热系数, W/m²·°C;
 λ: 为保温材料制品导热系数, W/m²·°C。

以上方法仅仅是计算出平行伴热管的根数和管径, 同时还必须考虑伴热后的总换热面积是否与上述计算结果相符。

2.2 蒸汽伴热管的分段

伴热管不能无限长, 伴热管长度达到一定程度将会导致冷凝水阻塞。所以需要根据下表中所规定的“蒸汽伴管最大允许有效伴热长度”原则进行分段, 每段伴热管的两端分别通过蒸汽引入管和冷凝水引出管连接到蒸汽分配站和冷凝水回收站(如表1所示)。

2.3 蒸汽伴热系统的方案设计

2.3.1 蒸汽伴热系统的组成

蒸汽伴热系统的组成为:

- (1) 蒸汽总管;

- (2) 蒸汽引入管;
- (3) 蒸汽分配站;
- (4) 蒸汽伴热管;
- (5) 冷凝水回收站;
- (6) 冷凝水引出管;
- (7) 冷凝水总管。

2.3.2 蒸汽伴热系统图:

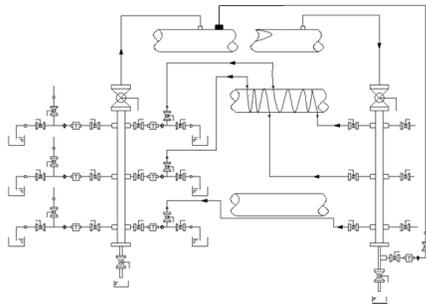


图1 蒸汽伴热系统图

2.4 蒸汽分配站和冷凝水回收站的设置

(1) “S”值的计算。蒸汽分配站的管径可按下列式计算出“S”值, 然后蒸汽分配管、蒸汽引入管、冷凝水集合管、冷凝水引出管按下附表查取。

$$S = A + 2B + 3C$$

式中:

A—DN 15、<12 mm、<10 mm伴管根数;

B—DN 20伴管根数;

C—DN 25伴管根数。

当“S”值超过16时, 宜设立2个或2个以上的蒸汽分配站和疏水站。

(2) 在3 m半径范围内, 如果设置了3个或3个以上供气点或排凝点时, 则应在该处设置蒸汽分配站或冷凝水回收站。每个冷凝水回收站的伴管一般不超过14根, 并预留1~2个备用管口。

(3) 每段蒸汽伴管在冷凝水返回端必须安装1组疏水阀(如表2)。

3 线束语

设计蒸汽伴热系统并不简单, 涉及到温度数据的合理取值, 保温厚度的合理计算, 伴热管根数的合理选择。本文主要为同行介绍了蒸汽伴热系统的理论计算过程和设计方法, 为工程设计提供参考依据, 方便大家的工作。

参考文献

[1] 孙洪波, 等. 化工装置中蒸汽伴热系统的工艺设计[J]. 石油化工设计, 2000, 17(4)
 [2] 陈让曲. 石油化工厂蒸汽伴热系统问题讨论[J]. 炼油设计, 1996, 26(2)
 [3] 康美琴, 张发有. 石油化工管道伴管和夹套管设计规范 SI-I/T 3040-2002[S]. 北京: 中国石化出版社, 2003

作者简介

黄凯华, 男, 汉族, 1974年11月出生, 籍贯: 江苏 1997年毕业于江苏石油化学工业学院化工设备与机械专业, 本科学历, 工程师职称, 现任上海蓝星聚甲醛有限公司设备部副经理, 主要从事设备管理、技术改造和项目设计与管理方面的工作。

表1 蒸汽伴管最大允许有效伴热长度: (m)

伴管直径 (mm)	蒸汽压力等级: 0.3≤P≤0.5	蒸汽压力等级: 0.5≤P≤0.7	蒸汽压力等级: 0.7≤P≤1.0
Φ8	30	40	50
Φ10、Φ12	40	50	60
DN15	60	75	90
DN20	60	75	90
DN25	80	100	120

备注:

外伴热管管径一般为Φ8、Φ10、Φ12、DN15、DN25。

当伴热蒸汽的凝结水不回收时, 最大允许有效伴热长度可延长20%;

采用导热胶泥时, 最大允许有效伴热长度宜缩短20%;

若被伴热管道长度超过最大允许有效伴热长度, 则伴热管可终止并排入疏水阀, 另提供新的供汽管, 以使伴热管得到延续。

对于蒸汽外伴热(温度应该为饱和温度), 伴热管的直径取决于被伴热管道的热损失和伴热管道的蒸汽压力。

表2 蒸汽分配站各项管径的确定

伴热管数量/根	蒸汽分配管/mm	蒸汽引入管/mm	冷凝水回收管/mm	冷凝水引出管/mm
4~8	DN50	DN25	DN50	DN25
9~12	DN50	DN40	DN50	DN40
13~16	DN80	DN50	DN80	DN50